

Interferometrische Messeinrichtung zum Erfassen der Form oder des Abstandes insbesondere rauher Oberflächen

Publication number: DE19808273

Publication date: 1999-09-09

Inventor: DRABAREK PAWEŁ (DE)

Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (DE)

Classification:

- International: G01B9/02; G01B11/14; G01B11/30; G01J9/04;
G01B9/02; G01B11/14; G01B11/30; G01J9/00; (IPC1-7); G01B11/30; G01B9/02; G01B11/00; G01J9/04;
G01N21/45

- European: G01B11/30B; G01J9/04

Application number: DE19981008273 19980227

Priority number(s): DE19981008273 19980227

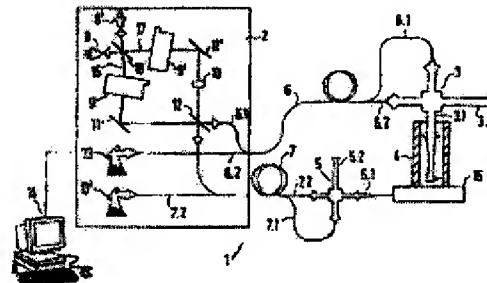
Also published as:

- WO9944009 (A1)
- EP1058812 (A1)
- US6724485 (B1)
- EP1058812 (A0)
- EP1058812 (B1)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE19808273

The invention relates to an interferometric measuring device (1) for determining the profile of rough surfaces. A spatially coherent beam generating unit is provided. Said unit emits temporally briefly coherent wideband radiation. The device is divided into a section with the components of a modulation interferometer (2) and a section with the components of a measuring probe (3). The measuring probe (3) is linked to the modulation interferometer (2) by an optical fibre system (6) and can be used at a distance from the modulation interferometer (2).



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



19 BUNDESREPUBLIK



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 08 273 A 1**

⑤ Int. Cl.⁶:
G 01 B 9/02
G 01 B 11/00
G 01 J 9/04
G 01 N 21/45
// G01B 11/30

②1 Aktenzeichen: 198 08 273.8
②2 Anmeldetag: 27. 2. 98
④3 Offenlegungstag: 9. 9. 99

71 Anmelder:

74 Vertreter:
Jeck . Fleck . Herrmann Patentanwälte, 71665
Vaihingen

72 Erfinder:

56 Entgegenhaltungen:
DE 1 95 20 305 C2
DE 43 36 318 A1
DE 41 08 944 A1
DE 39 06 118 A1
EP 01 26 475 B1

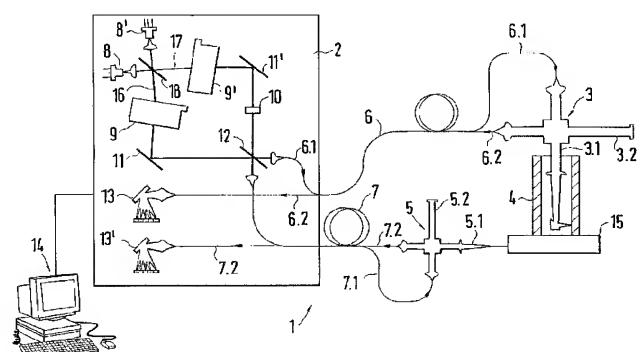
DE-Z: ULRICH, R., KOCH, A.: Faseroptischer
Antastsensor für rauhe Oberflächen, In:
Feinwerktechnik und Meßtechnik F & M, 100 (1992)
11, S. 521-524;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Interferometrische Meßeinrichtung zum Erfassen der Form oder des Abstandes insbesondere rauher Oberflächen

57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Interferometrische Meßeinrichtung (1) zum Erfassen der Form rauher Oberflächen, wobei eine räumlich kohärente Strahlerzeugungseinheit vorgesehen ist, die eine zeitlich kurzkohärente und breitbandige Strahlung abgibt, und eine Trennung in einen Abschnitt mit den Komponenten eines Modulationsinterferometers (2) und den Komponenten einer Meßsonde (3) vorgenommen und die Meßsonde (3) über eine Lichtleitfaseranordnung (6) mit dem Modulationsinterferometer (2) gekoppelt ist und von dem Modulationsinterferometer (2) entfernt verwendbar ist (Fig.).



Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Meßeinrichtung zum Erfassen der Form oder des Abstandes insbesondere rauher Oberflächen mit mindestens einer räumlich kohärenten Strahlerzeugungseinheit, deren Strahlung in einer Meßsonde in einen durch einen Meßreferenzzweig geführten und darin reflektierten Referenzmeßstrahl und in einen durch einen Meßzweig geführten und an der rauen Oberfläche reflektierten Meßstrahl aufgeteilt wird, mit einer Einrichtung zur Modulation der Licht-Phase oder zum Verschieben der Licht-Frequenz (Heterodynfrequence) eines ersten Teilstrahls gegenüber der Licht-Phase der der Licht-Frequenz eines zweiten Teilstrahls mit einer Überlagerungseinheit zum Überlagern des reflektierten Meßreferenzstrahls mit dem reflektierten Meßstrahl, mit einer Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit zum Aufspalten der überlagerten Strahlung auf zumindest zwei Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen und Umwandeln der Strahlung in elektrische Signale und mit einer Auswerteeinrichtung, in der die Form bzw. der Abstand der rauen Oberfläche auf der Grundlage einer Phasendifferenz der elektrischen Signale bestimmbar ist.

Eine derartige interferometrische Meßeinrichtung ist in der EP 0 126 475 B1 als bekannt ausgewiesen. Bei dieser bekannten Meßeinrichtung werden rauhe Oberflächen eines Meßobjektes interferometrisch ausgemessen, wobei eine Strahlerzeugungseinheit mit Laserlichtquellen verwendet wird, die Licht unterschiedlicher Wellenlängen abgeben. Mittels eines Strahlteilers wird das Laserlicht in einen Referenzstrahl eines Referenzstrahlengangs und einen Meßstrahl eines Meßstrahlengangs aufgeteilt. Der Meßstrahlengang trifft auf die zu vermessende Oberfläche, während der Referenzstrahlengang an einer Referenzfläche z. B. in Form eines Spiegels reflektiert wird. Das von der Oberfläche und der Referenzfläche reflektierte Licht wird im Strahlteiler vereinigt und mit Hilfe einer Linse in eine Interferogrammebene fokussiert, in der ein Speckle-Muster auftritt. Dieses Speckle-Muster wird zur Bestimmung der Oberflächenform ausgewertet, wobei eine Phasendifferenz der Interferogrammphasen im Meßpunkt bestimmt wird. Zur Vereinfachung der Auswertung wird ein Heterodyn-Verfahren angewendet, wobei die Frequenz des Referenzstrahles um eine Heterodynfrequence mittels einer Frequenzverschiebungseinrichtung im Referenzstrahlengang gegenüber der Frequenz des Meßstrahles verschoben wird. Mit dieser Meßeinrichtung können Oberflächenformen fein aufgelöst werden. Das Laserlicht mit unterschiedlichen, diskreten Wellenlängen kann entweder mit einzelnen Laserlichtquellen erzeugt werden, wie z. B. Argon-Laser. Derartige Laserlichtquellen sind relativ teuer. Halbleitlaser mit mehreren unterschiedlichen diskreten Wellenlängen (Moden) dagegen sind für derartige interferometrische Messungen ungünstig wegen der mangelnden Stabilität und damit verbundenen Wellenlängenverschiebung. Oder es können mehrere Laserlichtquellen, wie Laserdioden verwendet werden, um die verschiedenen diskreten Wellenlängen zu erzeugen. Dabei ist es technisch aufwendig, die räumliche Kohärenz der aus den verschiedenen Wellenlängen zusammengesetzten Strahlung zu erzeugen. Außerdem ist bei derartigen Laserdioden die Instabilität der einzelnen diskreten Wellenlängen besonders ungünstig. Damit zusammenhängend ist es auch aufwendig mehrere verschiedene diskrete Wellenlängen zur Verfügung zu stellen.

Bei Verwendung von Laserlicht zur Erzeugung der diskreten Wellenlängen ist es auch schwierig, den gewünschten

Abstand zwischen Meßsonde und Oberfläche genau einzustellen (Autofokusfunktion). Der Aufbau mit der Laserlichtquelle macht es ferner schwierig, den Meßteil als gut handhabbare Einheit auszubilden, die z. B. anstatt eines mechanischen Tasters einer Meßmaschine eingesetzt werden kann.

Eine weitere interferometrische Meßeinrichtung ist in der DE 39 06 118 A1 angegeben, bei der zwischen mehreren Laserlichtquellen und einem Meßabschnitt Lichtleitfasern vorgesehen sind. Auch hierbei wird zum Bestimmen der Oberflächenstrukturen eine Phasendifferenz ausgewertet. Hinsichtlich der Handhabung an schwer zugänglichen Stellen ist auch dieser bekannte Aufbau ungünstig.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine heterodyn- oder phaseninterferometrische Meßeinrichtung der eingangs angegebenen Art bereitzustellen, mit der bei einfacher Handhabung und einfacherem Aufbau auch an verhältnismäßig schwer zugänglichen Oberflächen, wie z. B. kleinen Bohrungen, unter Fertigungsbedingungen sehr genaue Messungen der Oberflächenform bzw. des Oberflächenabstandes möglich sind.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Hiernach ist vorgesehen, daß die von der Strahlerzeugungseinheit abgegebene Strahlung zeitlich kurzkohärent und breitbandig ist.

Es hat sich überraschend gezeigt, daß die zeitlich kurzkohärenten und breitbandigen Strahlerzeugungseinheiten mit gleichzeitig hoher räumlicher Kohärenz als Lichtquelle einer heterodyn-interferometrischen Meßeinrichtung insbesondere in Verbindung mit der Messung an rauen Oberflächen nicht nur gut geeignet sind, sondern gegenüber Laserlichtquellen erhebliche Vorteile bringen. Die räumliche Kohärenz der Strahlung ist durch die Lichtquelle von Hause aus gegeben. Instabilitäten der spektralen Strahlungsverteilung der Lichtquelle wirken sich bei der Messung praktisch nicht aus, da mittels der Strahlzerlegungseinheit (z. B. Gitter) und der zugeordneten Strahlempfangseinheit stets nicht nur einzelne feste Wellenlängen aus dem kontinuierlichen Spektrum stabil ausgewählt werden, sondern insbesondere auch deren für die genaue, eindeutige Auswertung wichtige Differenz stabil beibehalten wird. Intensitätsänderungen der Wellenlängen bei Instabilitäten wirken sich wegen der Heterodyntechnik nicht aus, da dabei lediglich die Phasen eine Rolle spielen. Durch die zeitlich kurzkohärente Strahlung kann eine Autofokusfunktion sehr einfach realisiert werden, da das Heterodynsignal nur für einen bestimmten Abstandsbereich zwischen Meßteil und Oberfläche, der durch die kurze Kohärenzlänge bedingt ist, vorhanden ist. Ferner bringt die kurze zeitliche Kohärenzlänge den Vorteil, daß das gesamte Meßsystem auf einfache Weise mittels Kohärenzmultiplex in ein die aktiven Komponenten beinhaltendes Modulationsinterferometer und einen davon räumlich z. B. über Lichtleiter getrennten, als Meßsonde ausgebildeten kleinen und robusten, leicht handhabbaren Meßteil aufgeteilt werden kann. Vorteile Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Ansprüche 3, 4 und 5 geben dabei einen für den Einsatz bei der Fertigung günstigen Aufbau wieder. Bei dem Mach-Zehnder-Aufbau wird durch die beiden in beiden Teilstrahlengängen angeordneten akustooptischen Modulatoren die Differenz der Winkeldispersion minimiert.

Ist vorgesehen, daß die Strahlerzeugungseinheit eine kurzkohärente, breitbandige Zusatzlichtquelle aufweist, die zur Lichtverstärkung oder als Ersatzlichtquelle betreibbar ist, so kann bei gleichzeitiger Verwendung der beiden Lichtquellen die Lichtstärke erhöht werden. Alternativ kann die Zusatz-Lichtquelle als Ersatzlichtquelle bei Ausfall der anderen Lichtquelle verwendet werden.

Die Maßnahmen, daß zur Frequenzverschiebung des er-

sten Teilstrahls gegenüber dem zweiten Teilstrahl in dem Strahlengang des zweiten Teilstrahls eine zusätzliche Einrichtung zur Frequenzverschiebung angeordnet ist und daß die Einrichtung und die zusätzliche Einrichtung zur Frequenzverschiebung akustooptische Modulatoren sind, sind geeignet, eine kleine Winkeldispersion zu erreichen. Einem Meßschlitz durch Temperaturdrift und einer damit verbundenen Brechzahländerung eines akustooptischen Modulators, die zu einer ungewollten Phasenverschiebung führt, wird durch die Anordnung der Modulatoren in beiden Strahlengängen entgegengewirkt.

Für den Aufbau und die Auswertung sind weiterhin die Maßnahmen günstig, daß die Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit ein Spektralapparat mit nachgeschalteter Photodetektormatrix ist und daß die Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit ebenfalls in der Baueinheit untergebracht und über die Lichtleitfaseranordnung mit der Meßsonde gekoppelt sind.

Der Aufbau und die Auswertung werden weiterhin dadurch begünstigt, daß die Meßsonde mit dem Meßzweig, dem Meßreferenzzweig und einem Strahlteiler der Meßsonde als Michelson- oder Mirau-Interferometer ausgebildet sind, und daß eine in dem Meßzweig und in dem Meßreferenzzweig erzeugte optische Wegdifferenz die mittels des Verzögerungselementes erzeugte optische Wegdifferenz aufhebt.

Ist vorgesehen, daß von dem zweiten Strahlteiler ausgehend ein weiterer Strahlengang gebildet ist, der zu einer Bezugssonde mit einem Bezugssonden-Referenzarm und einem Bezugssonden-Meßarm führt, daß in der Baueinheit eine weitere Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit vorgesehen ist, und daß die Baueinheit über eine weitere Lichtleitfaseranordnung mit der Referenzsonde gekoppelt ist, so kann mittels der Bezugssonde ein Drehtisch-Fehler kompensiert werden, der zum Bewegen des Meßobjektes mit der zu messenden Oberflächenstruktur verwendet wird. Ferner kann die Bezugssonde zum Kompensieren einer z. B. durch Temperatur verursachten Drift des in der Baueinheit vorgesehenen Modulationsinterferometers herangezogen werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Die Figur zeigt eine Anordnung der wesentlichen Komponenten einer interferometrischen Meßeinrichtung zum Erfassen der Form rauer Oberflächen in schematischer Darstellung.

Die interferometrische Meßanordnung ist in zwei Abschnitte aufgeteilt, wovon die eine als Baueinheit 2 in Form eines Modulationsinterferometers ausgebildet ist, während der andere Abschnitt eine Meßsonde 3, mit der ein auf einem Drehtisch 15 befindliches Meßobjekt 4 mit einer zu messenden rauen Oberfläche abgetastet wird, sowie eine Bezugssonde 5 umfaßt. Die Meßsonde 3 ist über eine Lichtleitfaseranordnung 6 mit dem Modulationsinterferometer 2 gekoppelt, während die Meßsonde 5 über eine weitere Lichtleitfaseranordnung 7 mit dem Modulationsinterferometer 2 verbunden ist. Das Modulationsinterferometer 2 in Form der Baueinheit 2 ist vorliegend als Mach-Zehnder Interferometer aufgebaut und weist die aktiven Komponenten auf, nämlich eine Lichtquelle 8 und eine zusätzliche Lichtquelle 8', in den Strahlengängen eines ersten Teilstrahls 16 und eines zweiten Teilstrahls 17 angeordnete akustooptische Modulatoren 9 bzw. 9' sowie zwei Photodetektormatrizen, die Teil einer Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit 13 bzw. einer zusätzlichen Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit 13' sind. Denkbar ist auch ein Aufbau als Michelson-Interferometer. Das Modulationsinterferometer 2 ist z. B. in einem klimatisierten, schwingungsisolierenden

Gehäuse eingebaut.

Die Lichtquelle 8 und die zusätzliche Lichtquelle 8', z. B. Superluminiszenzdioden, sind kurzkohärente breitbandige Lichtquellen mit einer kontinuierlichen Strahlungsverteilung einer Vielzahl unterschiedlicher Wellenlängen. Das Licht der Lichtquelle 8 und das Licht der Lichtquelle 8' wird kollimiert und in den ersten Teilstrahl 16 und den zweiten Teilstrahl 17 mittels eines ersten Strahlteilers 18 aufgeteilt, wobei sich die Lichtquelle 8 und die zusätzliche Lichtquelle 8' auf verschiedenen Seiten des Strahlteilers 18 befinden. Die zusätzliche Lichtquelle 8' kann als vorjustierte Ersatzquelle oder zur Verstärkung der gesamten Lichtstärke eingesetzt werden. Die beiden Teilstrahlen 16, 17 werden mit Hilfe der beiden akustooptischen Modulatoren 9 bzw. 9' gegenseitig in der Frequenz verschoben. Die Frequenzdifferenz beträgt z. B. einige kHz. In dem einen Arm des z. B. als Mach-Zehnder-Interferometer oder Michelson-Interferometer aufgebauten Modulationsinterferometer 2 ist im Strahlengang hinter dem akustooptischen Modulator 9' und einem anschließenden Ablenkspiegel 11' ein Verzögerungselement 10 z. B. in Form einer planparallelen Glasplatte eingesetzt, das eine Differenz der optischen Weglängen der beiden Teilstrahlen 16, 17, die länger als die Kohärenzlänge der Lichtquelle 8 bzw. 8' ist, erzwingt. In dem Arm des Modulationsinterferometers 2 mit dem ersten Teilstrahl 16 ist hinter dem akustooptischen Modulator 9 ebenfalls ein Ablenkspiegel 11 angeordnet, von dem das Licht auf einen zweiten Strahlteiler 12 gelenkt wird. Die beiden Teilstrahlen 16, 17 werden in dem zweiten Strahlteiler 12 überlagert und in eine oder zwei Monomode-Lichtleiteranordnung/en eingekoppelt. Aufgrund der mittels des Verzögerungselementes 10 bewirkten optischen Wegdifferenz interferieren die beiden Teilstrahlen 16, 17 nicht. Das Licht wird über die Licht-Leitfaseranordnung 6 zu der Meßsonde 3 und über die weitere Licht-Leitfaseranordnung 7 zu der Bezugssonde 5 geführt und dort ausgekoppelt. Die Meßsonde 3 bzw. die Bezugssonde 5 sind z. B. in Form eines Michelson- oder Mirau-Interferometers so aufgebaut, daß die optische Wegdifferenz der überlagernden Strahlen eines Meßzweiges 3.1 und Referenzzweiges 3.2 der Meßsonde 3 bzw. eines Bezugssonden-Referenzarmes 5.1 und eines Bezugssonden-Meßarmes 5.2 der optischen Wegdifferenz der beiden Teilstrahlen 16, 17 des Modulations-Interferometers 2 entspricht. In der Figur sind die Meßsonde 3 und die Bezugssonde 5 als Michelson-Interferometer abgebildet.

Der durch den Meßzweig 3.1 verlaufende Meßstrahl wird mittels einer optischen Anordnung auf die zu vermessende Oberfläche des Meßobjektes 4 fokussiert. Das von der Oberfläche reflektierte Licht wird dem in dem Referenzzweig 3.2 an einem reflektierenden Element zurückgeführten Referenzstrahl überlagert und in eine zu der Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit 13 führende Lichtleitfaser eingekoppelt. Aufgrund des Wegdifferenzausgleichs können die Lichtstrahlen interferieren. Entsprechend wird das Licht des Bezugssonden-Meßarmes 5.1 mit dem Licht des Bezugssonden-Referenzarmes 5.2 überlagert und der weiteren Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit 13' über die weitere Lichtleitfaseranordnung 7 über einen entsprechenden abführenden Zweig der weiteren Lichtleitfaseranordnung 7 zugeführt.

Aufgrund des Wegdifferenzausgleichs in der Meßsonde 3 bzw. der Bezugssonde 5 können die Lichtstrahlen interferieren. Die Lichtphasen-Differenz, die mittels des Heterodyn-Verfahrens in Verbindung mit den akustooptischen Modulatoren einfach auswertbar gemacht wird, beinhaltet Informationen über den Abstand zu der zu messenden Oberfläche des Meßobjektes 4 und damit über deren Oberflächenstruktur. Das von der Meßsonde 3 bzw. der Bezugssonde 5 in das

Modulationsinterferometer **2** zurückgeleitete Licht wird aus der Lichtleitfaseranordnung **6** bzw. der weiteren Lichtleitfaseranordnung **7** auskoppelt, mit Hilfe eines Spektralelementes (z. B. Gitter oder Prisma) der Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit **13** bzw. weiteren Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit **13'** in mehrere Farben bzw. Wellenlängen zerlegt und auf die Photodetektormatrix fokussiert. Jeder Photodetektor liefert ein elektrisches Signal mit der durch die akustooptischen Modulatoren **9**, **9'** erzeugten Differenzfrequenz und einer Phase φ_n die mit der Oberflächenstruktur bzw. dem Abstand zum Meßobjekt mit der Meßgröße ΔL (Formabweichung, Rauigkeit) und der zugehörigen Wellenlänge λ_n gemäß der Beziehung

$$\varphi_n = (2 \pi \lambda_n) \Delta L \cdot 2$$

zusammenhängt. Die Auswertung erfolgt auf der Grundlage einer Differenzbildung zwischen den Phasen der Signale unterschiedlicher Photodetektoren.

Durch die Vermessung der Phasendifferenzen der Signale mehrerer Photodetektoren (Mehrwellenlängen-Heterodyn-Interferometrie, vgl. die eingangs genannte Druckschrift mit weiteren Nachweisen) läßt sich die Meßgröße ΔL , die größer als einzelne Lichtwellenlängen sein darf, in einer Auswerteeinrichtung, beispielsweise in Form eines Rechners **14**, eindeutig bestimmen.

Mit dem beschriebenen Aufbau der interferometrischen Meßvorrichtung **1** wird eine vorteilhafte Trennung in einen Abschnitt mit der leicht handhabbaren Meßsonde **3** bzw. Bezugssonde **5** einerseits und einen Abschnitt mit den relativ empfindlichen Komponenten des Modulations-Interferometers **2** und der Auswerteeinrichtung erzielt. Die kurzkohärente, breitbandige Lichtquelle **8** bzw. **8'** führt zur einfachen Bereitstellung mehrerer stabiler Strahlungsanteile unterschiedlicher Wellenlängen und zur verbesserten, eindeutigen Auswertung von Formabweichungen, die auch Vielfache einer Wellenlänge betragen können.

Patentansprüche

1. Interferometrische Meßeinrichtung (**1**) zum Erfassen der Form oder des Abstandes insbesondere rauher Oberflächen mit mindestens einer räumlich kohärenten Strahlerzeugungseinheit (**8**, **8'**), deren Strahlung in einer Meßsonde (**3**) in einen durch einen Meßreferenzzweig (**3.2**) geführten und darin reflektierten Referenzmeßstrahl und in einen durch einen Meßzweig (**3.1**) geführten und an der rauen Oberfläche reflektierten Meßstrahl aufgeteilt wird, mit einer Einrichtung (**9**) zur Modulation der Licht-Phase oder zum Verschieben der Licht-Frequenz (Heterodynfrequence) eines ersten Teilstrahls (**16**) gegenüber der Licht-Phase oder der Licht-Frequenz eines zweiten Teilstrahls (**17**) mit einer Überlagerungseinheit zum Überlagern des reflektierten Meßreferenzstrahls mit dem reflektierten Meßstrahl, mit einer Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit (**13**) zum Aufspalten der überlagerten Strahlung auf zumindest zwei Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen und Umwandeln der Strahlung in elektrische Signale und mit einer Auswerteeinrichtung (**14**), in der die Form bzw. der Abstand der rauen Oberfläche auf der Grundlage einer Phasendifferenz der elektrischen Signale bestimmbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die von der Strahlerzeugungseinheit (**8**, **8'**) abgegebene Strahlung zeitlich kurzkohärent und breitbandig ist.
2. Meßeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlerzeugungseinheit (**8**, **8'**) eine die zeitlich kurzkohärente und breitbandige Strahlung

5

15

abgebende Lichtquelle ist.

3. Meßeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlerzeugungseinheit (**8**, **8'**), ein Strahleiter zum Bilden des ersten und zweiten Teilstrahls (**16**, **17**) und die Einrichtung (**9**) zur Phasenmodulation oder Frequenzverschiebung in einer von der Meßsonde (**3**) räumlich beabstandeten, als Modulationsinterferometer ausgebildeten Baueinheit (**2**) angeordnet sind, und daß in der Baueinheit (**2**) in dem Strahlengang eines Teilstrahls ein Verzögerungselement (**10**) angeordnet ist, das eine Differenz der optischen Weglängen der beiden Teilstrahlen (**16**, **17**) ergibt, die länger als die Kohärenzlänge der von der Strahlungserzeugungseinheit (**8**, **8'**) abgegebenen Strahlung ist.
4. Meßeinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Baueinheit (**2**) und die Meßsonde (**3**) mittels einer Lichtleiteranordnung (**6**) miteinander gekoppelt sind.
5. Meßeinrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Baueinheit (**2**) einen ersten Strahleiter (**18**) zum Bilden des ersten und zweiten Teilstrahls (**16**, **17**) und einen zweiten Strahleiter, dem der erste und der zweite Teilstrahl (**16**, **17**) zugeführt werden und an den beide Teilstrahlen (**16**, **17**) überlagert werden und der den zur Meßsonde (**3**) geführten Strahl weiterleitet, aufweist (Mach-Zehnder-Interferometer).
6. Meßeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlerzeugungseinheit (**8**, **8'**) eine zeitlich kurzkohärente, breitbandige und räumlich kohärente Zusatzlichtquelle (**8'**) aufweist, die zur Lichtverstärkung oder als Ersatzlichtquelle betreibbar ist.
7. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Frequenzverschiebung des ersten Teilstrahls (**16**) gegenüber dem zweiten Teilstrahl (**17**) in dem Strahlengang eines der beiden Teilstrahlen (**16**, **17**) eine zusätzliche Einrichtung (**9**) zur Frequenzverschiebung angeordnet ist und daß die Einrichtung (**9**) und die zusätzliche Einrichtung (**9**) zur Frequenzverschiebung akustooptische Modulatoren sind.
8. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit (**13**) ein Spektralapparat zur Aufspaltung des Lichts in mehrere Wellenlängen und eine nachgeschaltete Photodetektormatrix zum selektiven Empfang dieser Wellenlängen ist, daß die Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit (**13**) ebenfalls in der Baueinheit (**2**) untergebracht ist, daß die Strahlungserzeugungs- und die Strahlenempfangseinheit (**13**) über die Lichtleitfaseranordnung (**6**) mit der Meßsonde (**3**) gekoppelt ist und daß die Phasendifferenzen von Signalen von einzelnen Detektoren der Photodetektormatrix zur Bestimmung der Form oder des Abstands der Meßoberfläche verwendet werden.
9. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsonde (**3**) mit dem Meßzweig (**3.1**) dem Meßreferenzzweig (**3.2**) und einem Strahleiter der Meßsonde (**3**) als Michelson- oder Mirau-Interferometer ausgebildet sind, und daß eine in dem Meßzweig (**3.1**) und in dem Meßreferenzzweig (**3.2**) erzeugte optische Wegdifferenz die

mittels des Verzögerungselementes (10) erzeugte optische Wegdifferenz aufhebt.

10. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
daß von dem zweiten Strahlteiler (12) ausgehend ein 5
weiterer Strahlengang gebildet ist, der zu einer Bezugs-
sonde (5) mit einem Bezugssonden-Referenzarm (5.2)
und einem Bezugssonden-Meßarm (5.1) führt,
daß in der Baueinheit (2) eine weitere Strahlzerle-
gungs- und Strahlempfangseinheit, (13') vorgesehen 10
sind, und
daß die Baueinheit (2) über eine weitere Lichtleitfaser-
anordnung (7) mit der Referenzsonde (5) gekoppelt ist.
11. Verwendung der Meßeinrichtung nach einem der
vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, 15
daß die Meßeinrichtung für die Innengeometrie-Ver-
messung an Bohrungen eingesetzt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

